

# 油井动态与地震关系研究进展

刘元生

王六桥

(山东省地震局)

(国家地震局滇西地震预报实验场办公室)

地震前后油井动态的异常变化是指油井观测系统内油、气、水动态偏离其长期平均状态的变化。这种变化的起因源于地震活动(孕震、发震及震后地应力调整)。一切非震因素引起的油井动态变化统称为干扰,这些要予以排除。研究地震引起的油井动态变化,特别是地震前油井动态的变化的目的,主要在于提取前兆信息,以便预报未来地震时、空、强三要素,同时还在于提取震源信息,积累有关地震孕育过程的科学资料。油井观测系统包括观测层位、井孔、仪器,它与地下水观测系统的区别在于前者的观测层是承压圈闭的油、气、水层,地下水的观测层位有的是潜水层,有的是承压非圈闭或圈闭性较差的含水层。一般认为地下流体所在层位的圈闭性愈好,该层位上有应力应变活动时,在孔隙压力作用下,井孔内的压力、液位或流量变化的幅度愈大;另一方面,储液层圈闭性愈高,从时间域上看,它接受应力、应变效应的频带愈宽。因而油井动态观测的动力学效应要优于地下水观测。某些地区,那些无开采价值的小的储油构造上的油井是十分理想的地震观测井。

另一方面,由于大规模的开采石油和天然气,引起地下流体的运移(包括注水),改变着深处孔隙压力,造成有效应力的变化,使构造运动加速,诱发了地震和断层蠕动,造成大量井孔套管变形和错断,影响油、气生产。研究这些原因造成的油田、油井动态的变化,又与诱发地震、应力测量、石油开采等重大课题有关,它们与地震研究有密切的关系。

因此,油井动态与地震关系的研究,越来越受到地震界、石油界及其它有关部门的广泛注意。

## 一

国外较早的关于油井动态与地震关系方面的资料是1952年美国加利福尼亚兰凡迪茨5.4级地震前附近油井油压上升。1974年美国《自然界》杂志介绍了艾里赫和梅尔泽的发现:在中东苏伊士湾1969年3月31日6.1级、1971年7月8日4.8级和1972年1月12日5.1级地震前后,与其相距约100公里的油井产油量出现异常波动,异常持续时间分别为330天、120天和150天,此期间外产油量基本稳定。石油是靠油田压力自喷生产的,排除了人为干扰因素,产量每月测量一次。苏联达格斯坦的个别油井,也有震前出油量增加的报告。

1962年美国科罗拉多州丹佛地区,曾发生一起因向3800米深的地层排注废水引起的一系列小地震活动的事件,当注水暂停时地震活动就明显减少。为了验证这个现象,在该州兰吉

利油田向2000米深的地层注水, 结果发现可以部分的控制地震, 证实注水诱发地震是可能的, 而且给出了人工控制地震的美好远景。1983年美国加利福尼亚州科林加油田, 为了恢复油田的产油能力向油层灌注高压蒸汽, 结果引起了地震活动。

地震加速了油气田的形成, 是苏联科学家安德烈·特罗菲穆克院士最近提出的观点。他多年来研究了苏联各种油气田与煤田, 发现一系列矿产的分布在受到地震影响的震中地区附近。原始有机物转化为石油的过程必须有大的压力和摄氏一百度以上的温度这样适宜的环境, 而地震所释放的能量在这方面可以起很大作用, 地震的瞬时作用使矿产形成过程加快几倍, 地震波在岩石中产生多次爆炸, 甚至是分子间的爆炸, 使地层压力上升, 石油和天然气的运移能加速几十倍。

## 二

吴大铭最早报导我国油井震前动态变化的震例是1964年1月18日台湾嘉义6.75级地震, 震前9天距震中10公里的牛山油田的几口油井油压出现异常上升变化, 震后复原。1978年初, 王六桥等报道了1977年7月23日新疆库车5.5级地震前一口抽油井自喷的震例, 从此油井动态异常和地震存在着一定关系的事实引起大家的注意。1978年石油工业部曾下文各油田研究油井动态与地震的关系, 随后石油部渤海湾地震预测预报组吴振林、张德元、邹泉生、佟武、刘安健报导了1975年海城地震、1976年唐山等地震前14口异常井的资料。河北省地震局胡长和等报导了青县小牛庄废油井在唐山地震及其强余震前多次自喷的情况。山东省地震局刘元生、胜利油田邹泉生、王万青等分别报导了1979年渤海两次中等地震前、1976年唐山地震前胜利油田油井动态异常变化。大港油田张德元, 辽河油田佟武、白敬东, 辽宁省地震局刘宝垣, 地质部江苏石油勘探指挥部孙贤恺都曾报道过油井动态异常的震例资料。1984年根据国家地震局、石油工业部的联合发文, 对包括渤海、唐山大震在内的许多地震震前油井异常资料开展了清理工作, 清理总结了全国范围的几十个震例资料。这些资料表明, 地震前油井产油量、水位(液面)产气量、含水量、油气比、静压、油压、流压、套压、水化学成分等多种动态参数有异常变化。总之, 油井动态异常变化普遍出现在七级以上强震前及一些中强地震前。

## 三

与地震有关的油井动态异常, 在时、空分布上、形态上的基本特征为:

1. 异常井孔多位于油田的主要断裂附近, 或多条断裂的交接、复合部位, 呈条带状分布或相对集中, 许多井孔穿过断层, 相当数量的异常井孔处在背斜构造的顶部;
2. 部分井孔异常动态有一定的重复性, 有的井孔对某个区域的地震活动反应比较明显, 似有“敏感点效应”或“窗口效应”;
3. 异常大多表现为废油井、抽油井的自喷、产油量大幅度突升或波动式增加, 有的产油量几倍、几十倍地增长, 少量的孔产油量表现为下降形态; 此外产气量、含水量、油井

压力参数都有变化，异常是多方面的；

4. 异常多出现在震前几个月至几天，属于短临前兆范畴；

5. 异常幅度与震级关系不确定，但异常井孔分布面积及数量似与震级有关，震级大的地震异常井孔多，分布范围较大；

利用油井动态异常进行地震预报，河北省地震局及新疆地震局曾有几实践。河北省地震局及沧州市地震办公室根据任邱县郑<sub>1</sub>井、青县小牛庄油井震前自喷异常，预报过唐山强余震；胜利油田、华北油田、辽河油田所属的地震办公室也有预报的震例；新疆地震局根据油水井自喷异常预报过1979年7月9日米泉4.3级地震。但该局1984年7月根据自喷异常有过一次虚报，事后滇西实验场及云南局的有关同志对这次虚报继续进行了深入研究，他们提出了一个判别真假喷涌型前兆的标准，从而对预报的认识深化了一步。从这个例子可以看出建立前兆理论对预报实践的指导意义。

## 四

油井动态异常机理的研究还处于开始阶段，而且多偏重于油田水异常动态机理的研究。由于储油构造的圈闭性、水动力效应明显，机理研究也集中在这个领域中。李永善首先给出了在构造应力作用下强圈闭性和弱圈闭性水层中水位与应力的关系，他利用多孔介质模型进行研究后指出水位变化与构造应力张量变化有关。王六桥等根据新疆地震局地下水组对乌鲁木齐市米泉县古牧地5号油水井喷涌型异常的定量观测，在水层弹性贮放效应前提下，使用多孔介质模型，建立了“在脉冲状构造应力作用下二维径向非稳定流渗流模式”的正演理论，给出了理论合成水位曲线和流量曲线，完全模拟了观测曲线的形态，该模式推测的异常水位的恢复阶段水位与时间对数呈线性关系的观点已得到实际观测资料的验证，从而证明了模式的一定合理性，据此，还反演出震前震中区局部应力场存在着快速变化，其量级从百分之几巴到一个巴不等。郭增建、吴锦秀用地下深处液体过热暴沸的观点、秦保燕用层间解缚模式对震前油、气、水的异常变化进行了物理解释。张昭栋、刘元生等研究了油田注水和采油的压力变化对承压水位的影响，从物理、数学上进行了较为深入的论证和解释。佟武、白敬东用勒卡拉兹调和分析方法于地下水位分析，排除了干扰，突出了地震异常，为提取异常信息做出了努力。

## 五

课题领域中还包括为石油生产服务的研究，其实质是把地震预报工作中的一些理论、技术、方法用于解决油田生产中的某些问题。随着油田开发，实施了高压注水措施，一些油田地震活动加剧，产生了油田注水诱发地震的现象。例如任邱油田，该油田位于华北地震带内与邢台大震区相邻，有必要搞清油田内地震活动加剧是天然的还是诱发的，并对其危险性做出判断；许多油田虽然未产生注水诱发地震现象，但伴随着采油及注水过程大量出现了油井套管变形、损坏的现象，造成很大的经济损失，严重的影响着油田的稳产高产，提高了石油

生产的成本。为此必须解决套管变形的原因,以便使其损失最小,如果这种损失是不可避免的,也要对整个油田这种套管变形的发展趋势做出估计;油田的开发与生产还需要了解有关地下应力的数据,例如在一些低渗透率油气田、压裂工艺是必不可少的,而有关裂缝的方位、长度、高度、对称性的诊断,对合理部署井网,提高石油产量及采收率,评价与改进水力压裂的效果有着重要意义,显然需要地层绝对应力的数据。再者,伴随油田的采注,地层应力相应地在变动,这对油田的影响是不容忽视的,需要研究其影响后果。上述生产实际问题,与地震领域中有关诱发地震、诱发断层蠕动、水库地震研究、地面沉降、绝对应力测定、裂隙发展等课题、理论、方法、技术有着密切关系。这些问题的研究进展都将使石油生产受益,同时也扩大了对有关地震过程的认识,是地震研究的天然实验室。合作有利于双方,有利于学科发展渗透。

李自强、曹新玲、刘建中等研究了扶余油田、大庆油田的套管损害现象后,认为它是由于油田注水、有效法向应力降低,引起断层两盘及地层间的相对滑动,将注入泵压控制在临界压力之下或在断层错动的主要部位采取一系列的抽水措施是必要的;李自强、高阿甲、刘建中还以大庆油田为例,指出油田高压注水不仅引起有效应力降低,导致断层复活,造成套管损坏加剧,同时也会引起水平应力增大,使断层趋于稳定,套管损坏会趋于减小,这个过程与注水诱发地震、水库地震的过程极为类似,由稳定到不稳定甚至加剧,然后再逐渐恢复稳定状态,该过程相当长,以十年为单位。王六桥认为油田开采(或注水)会降低(或升高)含油层的孔隙压力,油层会被压缩(或膨胀),固结在地层中的套管会受到轴向的压力(或拉力),当含油层产状倾斜时,除轴向压力(拉力)外,还可分解出水平的剪力,这些力相当大,足以使套管变形,适当控制采、注比,以便维持油层中的孔隙压力稳定,可以减轻这方面的套管损坏。刘一鸣、吴宣、李自强等还在任邱油田、大庆油田做过注水诱发地震和注水诱发微破裂的研究和实验,对任邱油田注水诱发地震的危险性做了评定。刘子晋、李自强等在大庆油田依据油田压裂工序的数据,求得了不同深度地层的绝对应力值的大小,利用辅助判据求破裂面与主应力方向的角度,从而求得井口注水压力的临界值,减少套管的损坏。总之,这方面的工作还是初步的,今后应进一步加强两个部门的协作,加强学科之间的相互渗透。

## 六

油井动态与地震关系的研究,在地震预报研究领域是一个新的课题;将地震学的一些理论、技术、方法应用石油生产,也是一种新的尝试,正处于发展的初级阶段。但是,其前景是广阔的,因为它与四化建设紧密联系,而且学科间的交叉渗透也符合当前科学发展的规律。

本课题今后在地震预报研究方面的工作是:

1. 在多震区的各油田中选择对地震反应灵敏的油井,建立油井动态专用观测网,担任监测与研究任务;
2. 根据储油构造圈闭性的特点,主要开展油水动力研究,以流量、压力等观测参数为

主，在丰富多彩的异常形态中，以研究震前油井自喷前兆为主，这是因为信息量量级大，信噪比高，远远优于微动态观测，从河北局、新疆局、辽河油田、胜利油田、华北油田等单位采用油井动态异常预报地震的实践来看，几乎全部利用这种异常形态进行预报；

3. 开展观测层、井孔、仪器传递信息的传递函数研究；
4. 开展喷涌异常各阶段全过程水位、压力、流量随时间变化的观测研究；
5. 黏滞流体（石油）和气相在油井动态中异常特征的研究；
6. 利用超声探井求取重点井位油层和流体的有关参数；

在将地震学方法应用于油田开发方面开展如下研究：

1. 利用地震学方法研究压裂裂缝方位和几何形态的诊断技术；
2. 油田高压注水诱发地震危险性的评价；
3. 油田高压注水时地层绝对应力随时间的变化及对石油开采的影响；
4. 利用油田废油井套管在第四系复盖区进行跨断层流动短水准测量，并与非采区形变资料对比分析，探讨油田开发、地面形变与油井套管损坏之间的关系；
5. 油田开发过程套管损坏的机理及其预防措施。